

0- 773203

На правах рукописи



Ишков Виталий Никитич

**ВСПЛЫВАЮЩИЕ МАГНИТНЫЕ ПОТОКИ
И ВСПЫШЕЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ**

01.03.03 – физика Солнца

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Троицк – 2008

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Могилевский Мендель Азрилевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Лившиц Моисей Айзикович
кандидат физико-математических наук
Чумак Олег Васильевич

Ведущая организация:

Учреждение Российской академии наук Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения РАН (ИСЗФ СО РАН)

Защита диссертации состоится 23 декабря 2008 г. в 11:30 на заседании
диссертационного совета Д 002.237.01 при ИЗМИРАН по адресу: 142190,
Московская обл., г. Троицк (проезд автобусом № 398, 531, 512, 515, 508 от
станции метро «Теплый стан» до остановки «ИЗМИРАН»).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗМИРАН.

Автореферат разослан « 21 » ноября 2008 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000439053

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.237.01,
доктор физико-математических наук

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ю.М. Михайлов'.

Михайлов Ю.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Предметом диссертационной работы являются большие солнечные вспышечные события, условия осуществления, развития и возможность их прогноза.

Актуальность работы. Одна из важнейших проблем астрофизики заключается в установлении закономерностей появления, развития и геоэффективности вспышечных процессов на Солнце. Это объясняется рядом причин: Солнце – ближайшая к нам звезда и активные явления, протекающие в различных его областях, помогают понять энергетику и причины процессов на других астрофизических объектах; солнечные вспышечные события представляют собой наиболее мощный генератор высокоэнергичных заряженных частиц и излучений, что даёт возможность детального изучения возможных механизмов их рождения и ускорения; мощные солнечные вспышки и сопутствующие им крупномасштабные динамические явления (выбросы коронального вещества, возмущения в межпланетном пространстве) оказывают основное влияние на состояние околоземного космического пространства, определяя геомагнитные возмущения, состояние ионосферы и радиационную обстановку.

Прогноз возмущений околоземного космического пространства непосредственно зависит от успешного прогноза солнечных геоэффективных явлений, таких как большие солнечные вспышки (БСВ), выбросы солнечных волокон и корональные дыры. Основными агентами, вызывающими эти возмущения, являются выбросы коронального вещества как следствие активных процессов в солнечных вспышках и выбросах солнечных волокон и высокоскоростные потоки солнечной плазмы, следующие за ударной волной от солнечных вспышечных событий или истекающие из областей с открытой конфигурацией магнитного поля (корональных дыр). Согласно современным представлениям, определяющую роль в зарождении и реализации активных солнечных явлений играет магнитное поле. Наблюдения с высоким пространственным и временным разрешением показали, что осуществление солнечных вспышечных событий тесно связано с появлением новых всплывающих магнитных потоков (ВМП). В связи с этим возрастает роль исследования взаимодействия магнитных полей в активных областях (АО) в целях создания основ прогноза солнечных вспышек.

Цель работы: установление характера поведения вспышечно-активных областей при всплытии новых магнитных потоков, анализ накопленного материала о предвспышечном состоянии АО, ходе развития и динамических явлениях в БСВ и на этой основе создание методики краткосрочного прогноза роста вспышечной активности в АО и вне её и возможности реализации больших вспышечных событий.

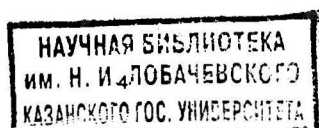
Научная новизна работы определяется тем, что впервые поставлена и методически решена задача единого описания явления больших вспышечных событий от условий возникновения, через закономерности их развития до выхода возмущения в межпланетное пространство. Как следствие решения этой задачи разработана методика прогноза больших солнечных вспышек.

Научная и практическая значимость результатов работы состоит в упорядочении картины развития больших вспышечных событий, что позволяет практически учитывать роль магнитного поля в возникновении, развитии и динамике крупномасштабных движений в них. Предлагаемая схема связи ВМП и осуществления БСВ снимает вопрос необходимости накопления энергии в АО для их реализации, что, в свою очередь, ставит достаточно жёсткие условия для теоретических моделей солнечных вспышек. На основе анализа характеристик новых ВМП появилась возможность создания практического прогноза появления и развития БСВ и их последствий в околоземном космическом пространстве, что и реализовано в данной работе.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Новая классификация вспышечных явлений, основанная на зависимости их появления от величины магнитного поля, в котором появляется новый ВМП, и обусловленная ею концепция солнечного вспышечного события позволяют рассматривать довыспышечные уярчения, выбросы солнечных волокон и собственно вспышки как одно активное солнечное явление, разнообразные проявления которого являются следствием взаимодействия ВМП различной мощности с магнитным полем, в котором вспышечный процесс осуществляется.

2. Солнечные вспышки необходимо рассматривать как совокупность вспышечных узлов, разнесённых во времени (минуты, часы) и в пространстве, в границах



осуществления явления. Каждое новое образование вспышечных узлов в пространстве развития вспышки вызывает всю цепочку явлений, присущих данному процессу как в излучении во всех диапазонах электромагнитного спектра, так и в пространственном распространении возмущений в зависимости от мощности появившихся вспышечных узлов.

3. Подтверждена определяющая роль магнитного поля АО в развитии вспышечных лент, динамических явлений (вспышечных арочных систем, корональных потоков и т.д.), а также в формировании преимущественного направления распространения выбросов коронального вещества и возмущений от солнечной вспышки.

4. Установлено, что уровень вспышечной активности АО целиком зависит от величины и скорости всплытия нового ВМП. Для осуществления больших солнечных вспышек необходимо, чтобы новый ВМП по величине превышал порог образования пятна среднего размера ($>10^{13}$ Вб) и скорость его всплытия была не менее 10^9 Вб/с. Данный вывод принципиально важен для практики прогноза больших солнечных вспышек.

5. Разработана методика прогноза БСВ, основанная на оценке мощности и скорости всплытия нового магнитного потока в АО, которая позволяет получить вероятностную оценку возможности осуществления больших солнечных вспышек и предложена её компьютерная версия.

Достоверность результатов исследований базируется на большом массиве использованных в работе высококачественных наблюдений солнечных явлений, полученных с узкополосным ($\Delta\lambda = 0.25 \text{ \AA}$), перестраиваемым на $\pm 16 \text{ \AA}$ Na-фильтром фирмы Zeiss-Opton, данных других наземных и орбитальных обсерваторий в разных спектральных диапазонах за два цикла солнечной активности, что значительно повысило возможность комплексного анализа исследуемых солнечных явлений. Созданная на основе проведённых исследований методика прогноза БСВ успешно применялась на практике с 1989 г. и прошла проверку в периоды полёта космических научных спутников ГРАНАТ, ГАММА, КОРОНАС-И и КОРОНАС-Ф. С 1997 г. на сайте ИЗМИРАН автором публикуется еженедельный обзор солнечных активных явлений за прошедший период и прогноз на следующую неделю, и пользователи могут оценить его достоверность.

Вклад автора. Результаты исследований, относящиеся к эволюции и вспышечной продуктивности АО и БСВ, получены автором в итоге совместной работы с его научными коллегами. Автор внёс определяющий вклад в наблюдениях и обработке данных в оптическом диапазоне, в интерпретацию полученных результатов. Анализ подготовки АО к осуществлению и реализации вспышек по наблюдениям ВМП, рассмотрение БСВ с точки зрения возникновения и развития вспышечных узлов и разработка методики и блок-схемы компьютерной версии прогноза БСВ сделаны автором.

Апробация работы. Результаты, изложенные в диссертации, докладывались на всероссийских и международных конференциях: IV Симпозиум КАПГ по солнечно-земной физике, Сочи, XI 1984 г.; Всесоюзный симпозиум по солнечно-земной физике, Иркутск, IX 1986 г.; XIII Консультативное совещание КАПГ по физике Солнца, Одесса, X 1988 г.; XIV Consultation on Solar Physics, Karpach, Poland, V 1991; Международная конференция «Солнце в максимуме активности и солнечно-звездные аналогии», Пулковое, Санкт-Петербург, IX 2000 г.; Международная конференция «Солнце в эпоху смены знака магнитного поля», Пулковое, Санкт-Петербург, V 2001 г.; Международная конференция «Солнечно-земная физика», Иркутск, IX 2004 г.; Международная конференция «КОРОНАС-Ф: три года наблюдений активности Солнца, 2001 – 2004 гг.», Троицк, ИЗМИРАН, I 2005 г.; Astrophysical Colloquium «Dynamical Processes in the Solar Atmosphere, Hvar, Croatia, IX 2006; International Symposium» International Heliophysical Year 2007: New insights into Solar-Terrestrial Physics, Zvenigorod, XI 2007.

Методика прогноза больших вспышечных событий прошла успешную проверку в периоды полётов научных спутников ГРАНАТ, ГАММА, КОРОНАС-И и КОРОНАС-Ф.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 38 работ, в том числе: 17 – в рецензируемых журналах, остальные – в тематических сборниках и в сборниках трудов российских и международных конференций.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы, содержит 152 страницы печатного текста, 36 рисунков, 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель исследования, аргументируются научная новизна и научно-практическая значимость работы, приводятся основные положения диссертации, выносимые на защиту и кратко излагается содержание работы.

В **главе 1** даётся краткий обзор современного состояния исследований ВМП и динамических явлений в больших солнечных вспышках.

В **разделе 1.1** анализируется развитие физических представлений о роли ВМП в эволюции АО, обобщаются сведения о пороговых значениях магнитного потока. Любое структурное образование, начиная с эфемерных областей до активных комплексов, может быть представлено как ВМП разной мощности, одновременно или последовательно появляющихся на Солнце. Время жизни спокойных, стационарных, магнитных образований увеличивается с величиной магнитного потока. Наблюдения показали, что росту вспышечной активности всегда предшествует появление ВМП, скорости всплытия которых значимо превосходят скорости всплытия в эволюционных спокойных структурах. Наблюдатели давно отметили, что в больших некомпактных группах пятен появлению БСВ предшествует увеличение площади или числа пятен. Многочисленные признаки предвспышечной ситуации на фотосферном, хромосферном и корональном уровнях как то: быстрый (1 сутки) рост площади пятен, усложнение магнитной структуры и быстрая эволюция группы пятен в классы D,E,F, (kc, ki), появление групп-спутников вблизи АО, наблюдение больших скоростей собственных движений пятен, появление компактных, быстро развивающихся арочных систем внутри АО, появление "шира" (изменение ориентации хромосферных волокон) в областях, примыкающих к линии раздела полярностей внутри АО, быстрый рост интенсивности фона мягкого рентгеновского излучения на величину до одного порядка, появление источника радиоизлучения, не совпадающего с существующими или перекрывающего их – следствие и отражение тех изменений, которые вносит ВМП в структуру АО. Рассмотрен вопрос о том, почему множество работ по ВМП не смогли однозначно связать рост вспышечной активности в исследуемой АО с новыми ВМП.

В разделе 1.2 даётся краткий обзор наблюдательных данных по солнечным вспышечным событиям (собственно вспышкам и выбросам солнечных волокон) с их динамическими явлениями как масштаба АО, где они происходили (распространение эмиссионных деталей вспышки, образование вспышечных арочных систем – ВАС, возвратные выбросы), так и крупномасштабными (выбросы волокон, выбросы коронального вещества, распространение возмущения от места осуществления БСВ). Основное внимание в обзоре уделено наблюдениям БСВ в линии $H\alpha$, которые изучались большим числом исследователей на протяжении многих лет. Современные наблюдения с наземными и орбитальными телескопами только расширяют и дополняют представление о сценарии развития большого вспышечного события, сложившееся в 80 – 90 годы XX века. Однако, надо подчеркнуть, что для правильного понимания вспышечного явления необходимо привлекать данные всех доступных диапазонов излучения.

В разделе 1.3 приводится краткое описание приборов, с помощью которых получен наблюдательный материал по развитию БСВ. Большая часть наблюдательного материала получена автором и его коллегами на башенном телескопе ИЗМИРАН, больших коронографах Астрофизического института Казахской АН, расположенном на высоте 3000 м над уровнем моря, и Крымской астрофизической обсерватории, а также 35 см рефракторе, установленном сначала на Верхней площадке Специальной астрофизической обсерватории РАН, а затем на Кисловодской горной станции ГАО РАН. Основным прибором был интерференционно-поляризационный фильтр на длину волны спектральной линии водорода $H\alpha$ ($\lambda=6453 \text{ \AA}$) фирмы Zeiss-Opton с полосой пропускания $0,25 \text{ \AA}$ и с возможностью перестройки по длине волны ($\pm 16 \text{ \AA}$). Использование фильтра дало возможность наблюдать развитие БСВ в крыльях линии $H\alpha$, где наиболее чётко проявляются вспышечные узлы – основные места локализации энерговыделения вспышек на данном уровне. Основным материалом наблюдений были серии снимков со сдвигом по длине волны. Для обработки отснятого материала применялись известные стандартные методы фотометрии – сложение и вычитание близких по времени и разнесённых по длине волны изображений. Для комплексного анализа БСВ привлекались данные наблюдений в радио и рентгеновском диапазонах с широким спектром длин волн и энергий. Кроме

того, в разделе предлагается способ краткого описания АО – генераторов больших солнечных вспышек, который отображает время и положение АО на видимом диске Солнца, её эволюционные характеристики и вспышечную активность.

В главе 2 приводятся результаты изучения мощных вспышечных событий, в наблюдениях и обработке которых автор принимал участие.

Раздел 2.1 посвящён результатам изучения динамических явлений больших солнечных вспышек.

В 2.1.1 даются результаты комплексного исследования событий VIII 1972 г. (2, 4 и 12.08). При изучении этих вспышек автором впервые был сделан вывод о том, что полное представление о развитии вспышки можно получить только из анализа возникновения и динамики вспышечных узлов, разнесённых во времени и пространстве в пределах границ реализации события. Быстрое образование вспышечных узлов в начальный период развития вспышки вдоль линии раздела полярности ведёт к формированию вспышечных лент. Динамика возникновения вспышечных узлов, которые являются местом входа оснований ВАС в хромосферу, определяет видимое в центре линии На расхождение вспышечных лент. Появление нового узла приводит к развитию новых короткоживущих динамических структур, время существования которых определяется мощностью этого узла. Подробный феноменологический анализ явлений, происходящих после максимума вспышки, позволил сделать вывод, что общая структура рассматриваемой АО отличалась удивительной стабильностью: основные ВАС и траектории движения вещества в них сохраняли своё пространственное положение.

В 2.1.2 проведён комплексный анализ наблюдательного материала, включающего все фазы развития больших вспышечных лимбовых событий 12.09.1966 г. (E90), 11.08.1972 г. (W90) и 20.08.1979 г. (E77). Первое событие произошло за одни сутки до выхода АО на восточный лимб, так что экранировались все части вспышки ниже 16000 км. При последующем прохождении видимого диска Солнца АО была сравнительно спокойной и её магнитная структура оставалась неизменной, что дало основание считать, что она была такой же и в день осуществления БСВ. Всё событие включало в себя целый ряд отдельных вспышечных узлов (подвспышек) в начале нарастающей, а в конце уменьшающейся мощности. Каждые отдельные

вспышечные узлы имели свою схему развития, в большинстве случаев подобную. Выброс волокна произошёл после начала взрывной фазы вспышки. ВАС достигли высоты лимба через ~40 мин после начала вспышки и наблюдались только в области пятен. Во втором событии, которое произошло, когда активная область находилась практически на лимбе, получены динамические и физические характеристики ВАС, которые оказались подобными тем, что наблюдались в предыдущих БСВ этой АО. В третьем событии удобное геометрическое расположение вспышки позволило изучить отдельно развитие двух вспышечных лент и динамику ВАС. Каждой компоненте микроволнового всплеска соответствовало синхронное возникновение вспышечных узлов в разных частях вспышечных лент и/или в разных участках арок ВАС. Исследование показало, что общая картина развития ВАС не зависит от мощности вспышечного события и его индивидуальных характеристик.

В подразделе 2.2 обсуждаются большие вспышечные события, в которых наиболее ярко проявилась зависимость энергетики вспышечного процесса от величины и динамики магнитного поля, в котором это явление осуществляется.

В 2.2.1 для вспышек 16.05.1981 г. и 01.08.1983 г. проведён комплексный анализ их развития в оптике, радио и рентгеновском диапазонах (2–80 кэВ). Локализация и динамика вспышечных узлов, а также особенности радио и рентгеновского всплесков показывают, что данное событие представляло собой пример вспышки со сложной пространственно-временной структурой. Главное внимание было уделено исследованию динамики возникновения и развития вспышечных узлов, сопровождающихся сложным многокомпонентным временным профилем, с сильно меняющимся спектром рентгеновского и микроволнового всплесков, специфическим динамическим спектром всплесков в дм- и м- диапазонах, обладавшим разнообразной и в определенной степени необычной тонкой структурой. На беспятенной стадии интенсивность рентгеновских всплесков была незначительной, а плотность потока микроволнового всплеска на 3 ГГц едва достигала 250 с.е.п. При этом, в центре линии H α это была уже большая вспышка балла 2 с хорошо развитыми вспышечными лентами. На втором этапе вспышечные узлы возникали в области пятен, что сразу же отразилось и на энергетике

вспышки, которая во всех исследуемых диапазонах достигла максимальных значений. Результаты наблюдения и исследования таких вспышек приводят к заключению, что БСВ следует рассматривать как совокупность ряда более мелких и простых вспышек, происходящих с некоторым сдвигом по времени в различных частях АО. При этом, последовательность актов энерговыделения (появления вспышечных узлов) в том или ином районе АО может сопровождаться своей последовательностью сопутствующих возмущений, например, двумя различными ударными волнами с разными траекториями распространения и радиовсплесками с заметно отличающимися характеристиками по частотному спектру, тонкой структуре и т.д..

В 2.2.2 показано, что для компактных гомологических вспышек 9 и 10.11.1979 г., разнесённых по времени на сутки, оказалось возможным сравнить динамику их развития в фотосфере и хромосфере с временными профилями, динамическими и частотными спектрами радиовсплесков для разных моментов времени развития вспышек. В этих вспышках вторая стадия тоже сопровождалась резким ростом интенсивности микроволнового радиовсплеска и ужесточением его частотного спектра. Кроме того, во второй стадии вспышки 10.11.1979 г. наблюдался взрывной процесс, сопровождавшийся мощным высокоскоростным двухкомпонентным выбросом вещества, с которым связаны две ударные волны со скоростями вдоль градиента плотности $V_{II} \sim 2200$ и 600 км/с.

В разделе 2.3 рассмотрены основные следствия рассмотренных вспышечных явлений. Прямые сопоставления развития вспышечных узлов в оптике, тонкоструктурных элементов локальных источников в см- и дм- диапазонах радиоволн и всплесков мягкого и жёсткого рентгеновских излучений приводят к выводу, что вспышки могут и должны рассматриваться как совокупность вспышечных узлов, возникающих, одновременно или последовательно, в пространстве границ осуществления вспышки. Таким образом, появление и эволюция вспышечных узлов даёт полную информацию о местах реализации вспышечной энергии, позволяет в реальном времени судить о появлении во вспышке значимого микроволнового и жёсткого рентгеновского излучения, а также позволяет провести классификацию вспышечных явлений в зависимости от локализации вспышечных узлов в магнитном

поле. В таблице 1 приведены основные характеристики солнечных вспышечных событий в зависимости от величины магнитного поля, в котором они появляются.

Таблица 1. Основные характеристики солнечных вспышечных событий.

Магнитное поле (Гс)	Магнитный класс	Тип явления	Максимальный балл		$F_{\text{см макс.}}$ с.е.п.	$X_{\text{жест.}}$ γ	ВКВ	ВАС
			H_a	$1 - 8\text{\AA}$				
<50	–	BCV	Уярчения $\leq C7$		<50	–	+	+
<500	–	CB	4N $\leq M7$		≤ 300	–	+	+
≤ 2000	γ, δ	CB	3B $> X12.5$		> 10000	+	+	+
>2500	δ	CB	1B $\leq M5$		<10000	+	–	–

$F_{\text{см макс.}}$ с.е.п. (солнечные единицы потока) – максимальный поток микроволнового излучения; $X_{\text{жест.}}$ γ – наличие всплесков в диапазоне жёсткого рентгеновского и гамма излучения; ВКВ – выбросы коронального вещества; ВАС – вспышечные арочные системы; BCB – выбросы солнечных волокон; CB – солнечные вспышки.

Данная классификация позволяет рассматривать довыспышечные уярчения, собственно вспышки и выбросы солнечных волокон как одно активное солнечное явление, являющееся следствием взаимодействия ВМП различной мощности с магнитным полем, в котором этот процесс осуществляется.

В главе 3 обсуждаются результаты комплексного анализа отдельных вспышечных АО с целью выявления условий, которые приводят их к предвспышечной ситуации.

В разделе 3.1 проведён комплексный анализ развития больших компактных сложных АО VIII 1972 г., VII 1978 г., III 1989 г., X–XI 2003 г., XII 2006 г. Их изучение показало, что рассмотрение обычно используемых суточных характеристик развития сложной вспышечной АО не выявило каких-либо значимых различий в структуре и магнитном поле спокойных и вспышечных периодов. Этот результат может указывать на то, что были рассмотрены только необходимые условия появления вспышек и не найдены достаточные. Представление о необходимых условиях мало менялось за всё время изучения АО и состояло в необходимости существования сложной магнитной структуры как всей АО (сложность нейтральной линии), так и группы пятен (магнитная конфигурация класса "δ"), в неравенстве магнитных потоков и их моментов для полей разной полярности, в

степени компактности самой группы пятен. В большинстве исследованных АО общее расположение БСВ в пространстве группы пятен значимо не менялось и ВАС в разных вспышках сохраняли свои параметры и места локализации. Исследование АО VIII 1972 г. дало возможность впервые привязать осуществление мощного протонного события 7.08 к быстрому всплыву 5.08 большого ядра в центре сложного пятна. На примере АО III 1989 г. показывается, что процесс осуществления больших солнечных вспышек, которые происходили в течение всего времени прохождения группы пятен видимого диска Солнца, можно связать с последовательным появлением мощных ВМП. Наиболее ярко роль вспышечного ВМП можно видеть на примере компактной АО XII 2006 г. с достаточно простой магнитной (хотя и δ) конфигурацией. После окончания первого вспышечного периода у восточного лимба (5–7.12) группа пятен оставалась «спокойной» до 10.12, когда на юго-западе АО появился новый ВМП, который привёл к периоду вспышечного энерговыделения 13–14.12. За 43 часа в АО произошли две БСВ, и ни одной вспышки среднего балла. Обсуждаются также трудности выделения вспышечного ВМП в очень больших компактных группах пятен.

В разделе 3.2 анализируются особенности осуществления вспышечных событий в некомпактных АО (VII 1982 г., IX 1983 г., XI 2004 г.), в которых можно уверенно выделить лидирующие, хвостовые и центральные части, каждая из которых или одна из них могут иметь сложную магнитную структуру. Впервые было установлено, что в таких АО с площадью ≥ 1000 м.д.п. большой ВМП, кроме основного вспышечного периода, в котором реализуется до 80% больших вспышек, через 5–6 суток может вызывать второй, дополнительный, такой же длительности (~55 час) период, во время которого осуществляются остальные большие вспышки. При изучении больших вспышечных событий в АО VII 1982 г. и IX 1983 г. было выявлено, что эти АО представляли собой редкий случай сосуществования компонентов комплекса, граница между которыми проходит в магнитном поле одной полярности. Такая ситуация приводит к тому, что вспышечные узлы (и вспышечная лента), возникая в поле определённой полярности, не могут проникать в область второго компонента той же полярности. Т. е., наблюдается реальная физическая граница между двумя независимыми магнитными системами на уровне фотосферы, хромосферы и короны. Такие

системы не могут существовать длительное время: силы отталкивания достаточно быстро (≤ 10 суток) разводят их. Последняя АО даёт пример взаимодействия двух ВМП, которые следуют один за другим и образуют структуру с нормальным темпом эволюции, но при этом вспышечное энерговыделение в АО отличалось необычной концентрацией больших вспышек и выбросов коронального вещества.

В разделе 3.3 рассмотрены наблюдательные закономерности появления вспышечных АО и осуществления в них БСВ. Из наблюдений за ВМП можно суммировать признаки, после которых наступает рост большой вспышечной активности. Для осуществления БСВ необходимо, чтобы новый ВМП был достаточно большим ($>10^{13}$ Вб) и скорость его всплывтия была не менее 10^9 Вб/сек. БСВ появляются через 1–2 суток после обнаружения ВМП в пределах АО. Вспышки больших и средних баллов в АО группируются в серии, кортежи. Проведенные исследования распределения БСВ за период 1970–1997 г. показали, что в большинстве случаев они происходили в ограниченном временном интервале. Интервал времени, за который в АО осуществляется основная доля вспышек больших и средних баллов, будем называть периодом вспышечного энерговыделения (ПВЭ). В зависимости от степени развития АО, характеристик ее магнитного поля и мощности нового ВМП данный период может длиться от 16 до 80 часов, в среднем 55 ± 35 часов или 17% времени прохождения АО по диску Солнца. На разных фазах развития солнечной активности самые продуктивные вспышечные АО появляются в определенных долготных интервалах, причем после последнего появления таких АО данный интервал "замолкает" до конца солнечного цикла. Это позволяет рассматривать понятие "активные долготы" как динамическое, зависящее от фазы солнечного цикла и от полушария локализации АО, причем активность полушарий разнесена по времени. Очень важно отметить: в данном временном интервале происходят все БСВ данной АО, если её площадь <1000 м.д.п.. Для того, чтобы в такой АО произошла другая серия больших вспышек, необходимо всплывтие нового магнитного потока. В группах пятен, площадь которых превышает 1000 м.д.п., во время ПВЭ реализуется до 80% больших вспышек, далее наступает период затишья (~ 5 суток), затем наступает второй ПВЭ

такой же длительности (~55 час), во время которого осуществляются остальные большие вспышки.

В главе 4 изложена разработанная автором на основании результатов исследований, приведённых в главах 2 и 3, методика прогнозирования больших солнечных явлений и их отклика в околоземном космическом пространстве и даётся описание блок-схемы её компьютерной версии.

В разделе 4.1 даётся описание методики прогноза больших вспышечных событий, основанной на наблюдениях новых ВМП в пределах АО. При разработке методики прогноза больших солнечных вспышечных событий была поставлена цель сделать процедуру прогноза на основе ежедневно доступных данных, имеющихся в службе Солнца. Так как прямые измерения характеристик магнитных потоков пока недоступны, они оцениваются по изменениям площади группы пятен за предыдущие сутки. Даётся описание необходимых для составления прогноза наблюдательных данных и порядок его осуществления. Показывается, как эту методику можно применять для прогноза состояния околоземного космического пространства.

В разделе 4.2 даётся описание компьютерной версии прогноза геоэффективных солнечных явлений и их отклика в околоземном космическом пространстве, её блок-схемы и порядок работы. Она даёт возможность любому пользователю получить вероятностную оценку возможности осуществления солнечных вспышек большого и среднего балла на временном интервале, определяемом временем всплывтия нового ВМП и его взаимодействия с уже существующим магнитным полем. Кроме того, методика позволяет по уже свершившемуся факту определить возможность осуществления геомагнитного возмущения от выбросов солнечных волокон и корональных дыр.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы:

1. Предложена и обоснована концепция солнечного вспышечного события, вытекающая из новой классификации активных явлений и основанная на их зависимости от величины магнитного поля, в котором появляется новый всплывающий магнитный поток. Эта концепция позволяет рассматривать довспышечные уярчения, собственно вспышки и выбросы солнечных волокон как одно солнечное вспышечное явление, являющееся следствием взаимодействия

всплывающих магнитных потоков различной мощности с уже существующим магнитным полем, в котором этот процесс осуществляется

2. Установлено, что солнечные вспышки необходимо рассматривать как совокупность вспышечных узлов, разнесённых во времени (минуты, часы) и в пространстве, в пределах границ осуществления вспышки. Каждое новое появление вспышечных узлов в пространстве развития вспышки вызывает всю эволюционную цепочку явлений, присущих данному процессу как в излучении во всех диапазонах электромагнитного спектра, так и в пространственном распространении возмущений в зависимости от мощности появившихся вспышечных узлов. Такой подход позволяет объяснить причину медленного и взрывного начал вспышек. Во вспышках с медленным началом первые вспышечные узлы появляются в пространстве с меньшим магнитным полем.

3. Подтверждена определяющая роль магнитного поля АО в развитии не только арочных вспышечных систем и в движении вещества внутри их, но и распространении вспышечных лент. Возникновение вспышечных узлов в больших магнитных полях полутени и/или в межадерном пространстве пятен резко повышает энергетику последующих явлений. Преимущественное направление выбросов коронального вещества от вспышки полностью зависит от распределения магнитного поля в АО.

4. Установлено, что уровень вспышечной активности АО целиком зависит от величины и скорости всплытия нового ВМП. Для осуществления больших солнечных вспышек необходимо, чтобы новый ВМП по величине превышал порог образования пятна среднего размера ($>10^{13}$ Вб) и скорость его всплытия была не менее 10^9 Вб/с. Данный вывод принципиально важен для практики прогноза больших солнечных вспышек.

5. Показано, что ВМП, ответственный за последующий период вспышечного энерговыделения, появляется за одни – двое суток до начала вспышечной серии в зависимости от его характеристик. Вся последовательность вспышек больших и средних баллов, обусловленных данным ВМП, осуществляется в течение 55 ± 35 часов. Для осуществления следующей серии вспышек необходимо появление

нового ВМП. Однако есть случаи, когда в очень больших группах пятен мощный ВМП, уже реализовавший ПВЭ I, через 5–6 суток вызывает ПВЭ II меньшей мощности.

6. Установлено, что солнечные вспышки, даже самые мощные, жёстко привязаны к пространству АО, в котором они происходят. Если в процессе развития АО рядом с ней образовалась область, генетически с ней не связанная, вспышечные узлы (и, соответственно, вспышечные ленты) не проникают в данную область.

7. Предложена методика прогноза больших солнечных вспышек, основанная на наблюдениях и характеристиках всплывающих магнитных потоков в активных областях и вне их и создана её компьютерная версия.

Список публикаций автора по теме диссертации:

1. Akinyan, S.T., Ishkov, V.N., Mogilevskiy, E.I., Böhme, A., Fürstenberg, F., Krüger, A. On Peculiar Quasi-periodic Components and the Possible Structure of the Generating Region of the Type IV Event of August 4, 1972 // Contribution of the Astronomical Observ. Skalnat Pleso, 1976.– V. 6.– P. 35–46.
2. Mogilevskiy, E.I., Ishkov, V. N. On the Eruptive Phase of Proton Flares // Contribution of the Astronomical Observatory Skalnat Pleso, 1976.– V. 6.– P. 69–84.
3. Коробова З.Б., Ишков В.Н., Могилевский Э.И. Эруптивные хромосферные явления во время вспышки 2.08. 1972 г., // Физика солнечной активности, М.: Наука, 1976.– С.3–32.
4. Ишков В.Н. Динамика и пространственная структура арочных систем в лимбовой протонной вспышке 11.08.1972 г. // Физика солнечной активности, М.: Наука, 1976.– С. 3–32
5. Коробова З.Б., Ишков В.Н., Могилевский Э.И. К вопросу о стационарности структуры магнитного поля в АО по наблюдениям динамики хромосферных явлений при вспышке 2.08.1972 г. // Солнечные данные. – 1976.– № 10. – С. 92–100.
6. Ишков В.Н., Могилевский Э.И., Нефедьев В.П. О соответствии оптических и радио явлений в эруптивной (послемаксимальной) фазе протонной вспышки 4.08.1972 г. // Солнечные данные.– 1978.– № 1.– С. 72–75.
7. Ишков В.Н., Могилевский Э.И. О дискретных компонентах больших солнечных

- вспышек // Физические процессы в ионосфере и магнитосфере, М.: ИЗМИРАН, 1979.– С. 5–22.
8. Ишков В.Н., Коробова З.Б., Могилевский Э.И. Арочные системы больших солнечных вспышек // Исследования по физике солнечной активности, М.: Наука, 1979.– С. 93–116.
9. Ишков В.Н., Ромполт Б. Динамические явления лимбовой вспышки 12.09.1966 г. // Физика солнечной активности, М., Наука, 1980.– С. 80–92.
10. Ишков В.Н., Коробова З.Б., Могилевский Э.И., Старкова Л.И., Утробин В.Г. Эволюция и вспышечная активность активной области ММ 15403–1978 // Физика солнечной активности, М.: Наука, 1980.– С. 48–79.
11. Ишков В.Н., Ковалев В.А., Могилевский Э.И., Плотников В.М., Чернов Г.П. Комплексный анализ прилиम्бовой вспышки 20.08.1979 г. // Год солнечного максимума, М.: ИЗМИРАН, 1981.– Т. 2.– С. 72–84.
12. Ishkov, V. N., Kulcar, L. A complex of active regions in April–August 1980 period // Bull. Astronom. Inst. of Czechoslovakia, 1983. – V. 34. – № 5. – P. 277–281.
13. Ишков В.Н., Могилевский Э.И. Эволюция комплексов вспышечно-активных областей на Солнце // Солнечная активность, Алма-Ата: Наука, 1983.– С. 3–20.
14. Chertok, I. M., Fomichev, V. V., Ishkov, V. N., Markeev, A. K., Minasyants, G. S., Obashev, S. O. Relationship of the Dynamic Events in Optical and Radio Ranges during the Flares of November 9 and 10, 1979 // Publ. Debrecen Heliophys. Obs.– 1983.– V. 5.– № 1–3.– P. 73–83.
15. Бенькова Н.П., Васильев К.Н., Ишков В.Н., Каминер Н.С., Козлов Е.Ф., Саморокин Н.М., Колесникова Л.А., Лаврова Е.В., Непомнящая Е.В., Новикова А.М., Переяслова Н.К., Фомичев В.В. Гелио-и геофизические явления в июле 1982 г. // Геомагнетизм и Астрономия.– 1983.– Т. 23.– № 5.– С. 705–709.
16. Ishkov, V.N., Korobova, Z.B., Mogilevskij, E.I. Evolution of Structure Proper Motions and Some Peculiarities of Large Flares in the Active Region of 1982, June–July // Publ. Debrecen Heliophys. Obs. – 1983.– V. 5.– №.1.– С. 355–367.
17. Ishkov, V.N., Markeev, A.K., Fomichev, V.V., Chernov, G.P., Chertok, I.M., Likin, O.B., Pisarenko, N.F., Valnicek, B., Karlicky, M., Tlamicha, A., Farnik, F., Kalman, B. Peculiarities of the Development of Flare on 1981, May 16 as Observed in Optical X-Ray and Radio

Waves // Publ. Debrecen Heliophys. Obs.– 1983.– V. 5.– № 1.– P.193–206.

18. Ishkov V.N., Markeev A.K., Fomichev V.V., Chernov G.P., Chertok I.M., Likin O.B., Pisarenko N.F., Karlicky M., Tlamicha A., Farnik F., Valnicek B., Kalman B. Analysis of the flare of May 16th, 1981 with a complex space-time structure using optical, X-ray data and radio observations // Bull. Astronom. Ins. of Czechoslovakia.–1985.– V. 36.– № 2.– P. 81–96.

19. Ишков В.Н., Фомичев В.В., Черток И.М. Некоторые динамические явления во вспышках со сложной пространственно-временной структурой // Физика солнечных вспышек, М.: ИЗМИРАН, 1985.– С. 35–43.

20. Ишков В.Н., Стоянова М.Н. Соотношение вспышечной активности и тонкой структуры фотосферы активной области 3804 июля 1982 г. // Солнечные данные.– 1987. – № 8.– С.88–90.

21. Ishkov V.N., Kalman B. Flare Development and Magnetic Fields // Solar Maximum Analysis, Novosibirsk: Nauka, 1988. – P. 43–46.

22. Chertok I.M., Fomichev V.V., Ishkov V.N. Some Dynamic Events in Large Solar Flares // Solar Maximum Analysis, Novosibirsk: Nauka, 1988.– P. 97–100.

23. Ишков В.Н., Фомичев В.В., Черток И.М., Кузнецов А.В., Ликин О.Б., Писаренко Н.Ф., Терехов О.В., Якубцев Л.Я., Бара К., Ведренн Ж., Ниель М., Бакунина И.А., Нефедьев В.П., Смольков Г.Я., Потапов Н.Н., Вальничек Б., Фарник Ф., Гонтарев О.Г., Классен А.П., Минасянц Г.С., Обашев С.О., Эноме Ш. Динамика двустадийной вспышки 1 августа 1983 г. по наблюдениям в оптическом, рентгеновском и радиодиапазонах // Проблемы физики солнечных вспышек, М.: Наука, 1988.– С. 56–76.

24. Ишков В.Н., Стоянова М.Н. Связь тонкоструктурных особенностей фотосферы со вспышечной активностью в июле 1982 г. // Исследования солнечной плазмы, Ашхабад: Ылым, 1989.– С. 78–81.

25. Ишков В.Н. О реализации больших солнечных вспышек во вспышечно-активных областях // Исследования солнечной плазмы, Ашхабад: Ылым, 1989.– С. 95–99.

26. Ishkov, V.N., Kalman, B. Active Region NOAA 4671/72 (July 1985): Complex Morphology, Little Activity, and Interplanetary Protons // Solar Magnetic Fields and Corona, Novosibirsk: Nauka, 1989.– С. 150–155.

27. Ishkov, V.N., Linke, J. On Boundaries Among Magnetic Structures at the Sun // Astronom. Nachr.– 1990.– V. 311.– № 6.– P. 397–398.

28. Aurass, H., Krueger, A., Rimpolt, B., Garczynska, I., Fomichev, V. V., Chertok, I. M., Ishkov, V. N., Urbarz, H. Radio Signature and H-alpha Limb Features of the 1979 March 9 and 1982 July 9 Flares // *Astronom. Nachr.*– 1991.– V. 312.– № 4.– P. 245–256.
29. Ишков В.Н. Всплывающие магнитные потоки – ключ к прогнозу больших солнечных вспышек // *Изв. РАН, серия физ.*– 1998.– Т. 62.– № 9.– С. 1835–1839.
30. Ишков В.Н. Прогноз геоэффективных солнечных вспышек: возможности и ограничения // *Изв. РАН, серия физ.*– 1999.– Т. 63.– № 11.– С. 2148–2151.
31. Ишков В.Н., Петров В.Г. Компьютерная версия прогноза больших солнечных вспышек и возмущений околоземного космического пространства // *Солнечно-земная физика, Троицк: ИЗМИРАН, 1999.*– С. 356–361.
32. Ishkov, V.N., Petrov, V.G. Database of Solar Geoeffective Event and their Responses in Earth's Space Environment // *Baltic Astron.*– 2000.– V. 9.– № 4.– С. 599–604.
33. Ишков В.Н. Наблюдательные признаки осуществления жестких рентгеновских вспышек // *Современные проблемы астрофизики: И.С. Шкловский, С.А. Каплан, С.Б. Пикельнер, Труды ГАИШ, 2001.* – Т. LXVIII. – Ч. 2. – С. 264–268.
34. Ишков В.Н. Солнечные геоэффективные явления: как и когда они воздействуют на околоземное космическое пространство // *Солнечно-земная физика, Новосибирск: СО РАН, 2002.*– вып 2 (115).– С. 10–12.
35. Ishkov V.N. Short Term Forecast of Solar Geoeffective Flare Event // *Proc. of ISCS 2003, ESA SP-535, Tatranska Lomnitsa: Slovakia, 2003.* –P. 539–540.
36. Ishkov V.N. Evolution and Flare Productivity of Active Region with Solar Extreme Events of the Current 23 Solar Cycle // *Solar Extreme Events, Fundamental Science and Applied Aspects, Proc. 2nd Internat. Symp. SEE-2005, Nor Amberd, Armenia, 2005.*– P. 37–40.
37. В. Н. Ишков, Эволюция и вспышечная продуктивность активных областей в октябре–ноябре 2003 г. // *Астр. Вестник.*– 2006.– Т. 40.– №2.– С. 117–124.
38. Ишков В.Н., Солнечные вспышечные события 23 цикла СА: соотношение между вспышками и выбросами коронального вещества. // *Научная сессия МИФИ-2008.*– М: МИФИ.–2008.– Т.9.– С.107–109.



02

Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии КДУ
Тел./факс: (495) 939-57-32. E-mail: press@kdu.ru